

银川不同湿地陆生昆虫群落多样性与稳定性

何云川¹, 杨贵军², 王新谱^{1,*}

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750021)

摘要:【目的】调查和分析银川不同湿地陆生昆虫群落结构组成、功能多样性及其稳定性变化。【方法】2016年5–10月选取银川黄河湿地(HH)、鸣翠湖湿地(MCH)、芦花台湿地(LHT)、水洞沟湿地(SDG)4种湿地生境,采用棋盘式扫网和陷阱捕捉的方法进行昆虫采集。根据调查数据进行昆虫群落结构多样性分析、主成分分析和聚类分析。【结果】4种湿地生境共采集昆虫38 668头,隶属13目97科370种。双翅目、同翅目、膜翅目在4种生境中均为优势类群。植食性(Ph)昆虫功能团的科数和种数在4种生境昆虫群落中占比均最大。植食性-中性昆虫(Ph-Ne)间个体数在4种生境下均存在显著负相关($P < 0.01$);植食性-捕食性昆虫(Ph-Pr)间个体数在MCH生境下存在显著正相关($P < 0.05$);中性-捕食性昆虫(Ne-Pr)间个体数在MCH生境下存在显著负相关($P < 0.01$),在LHT生境下存在显著负相关($P < 0.05$);4种功能团结构的其他组合的个体数在4种生境下均不存在显著相关性。主成分分析结果表明,捕食性类群是4个类群中影响构成昆虫群落组成的主要成分。同种功能团在4种生境下的多样性分析结果表明,捕食性功能团(Pr)与寄生性功能团(Pa)在4种生境群落中的群落丰富度、均匀程度[辛普森指数(Simpson index)]差异性显著($P < 0.05$),而植食性功能团(Ph)与中性功能团(Ne)的群落丰富度、均匀程度的差异性不显著($P > 0.05$);中性功能团(Ne)在4种生境群落中个体出现的不确定程度[香农-维纳指数(Shannon-Wiener index)]差异性不显著($P > 0.05$),在4种生境的均匀度指数(Pielou evenness index)差异性显著($P < 0.05$),其余3个功能团在4种生境下的香农-维纳指数均差异性显著($P < 0.05$),在4种生境下的均匀度指数均差异性不显著($P > 0.05$)。4种生境昆虫群落特征指数的聚类分析分为2类,永久性湿地HH和MCH为第1类,季节性湿地LHT和SDG为第2类。 S_s/S_i 和 S_a/S_p 两个稳定性指标均显示MCH昆虫群落稳定性最高,4种生境昆虫群落最稳定的时期是5和9月。【结论】双翅目和膜翅目昆虫在银川不同湿地生境中均为优势类群,可作为环境指示参考;昆虫群落稳定性最好的湿地类型为永久性湖泊湿地;不同生境昆虫群落多样性随季节时序变化,在银川最稳定的时期是5和9月。气候因子、环境因素如何驱动各湿地昆虫群落多样性及稳定性的变化因素还有待开展研究。

关键词: 昆虫群落; 功能团; 群落多样性; 群落稳定性; 湿地

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2018)12-1439-14

Diversity and stability of terrestrial insect community in different wetlands in Yinchuan, Ningxia, Northwest China

HE Yun-Chuan¹, YANG Gui-Jun², WANG Xin-Pu^{1,*} (1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: 【Aim】To investigate and analyze the changes in the structural composition, functional diversity and stability of terrestrial insect communities in different wetland types in Yinchuan, Northwest

基金项目: 宁夏高等学校一流学科建设(草学学科)资助项目(NXYLXK2017A01)

作者简介: 何云川,男,1995年2月生,云南凤庆人,硕士研究生,研究方向为昆虫生态学与害虫综合防治研究, E-mail: m18301109328@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangxinpu@nxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2018-05-24; 接受日期 Accepted: 2018-08-30

China. 【Methods】 Four wetland habitats including Yellow River wetland (HH), Mingcui Lake wetland (MCH), Luhutai wetland (LHT) and Shuidonggou wetland (SDG) were selected based on the experimental design, and sampled from May to October, 2016. Insects were collected by chessboard sweeping and pitfall trapping approaches. Insect community structure diversity analysis, principal component analysis and cluster analysis were conducted based on the survey data. 【Results】 A total of 38 668 insects belonging to 370 species, 97 families and 13 orders were collected from the four wetland habitats in Yinchuan. Among them, Diptera, Homoptera, and Hymenoptera were the dominant groups in all the four habitats. Phytophagous insects accounted for the largest proportion in the family and species level of the insect communities among the four wetlands. The individual number showed a significantly negative correlation between the phytophagous and the neutral insects (Ph-Ne) in the four habitats ($P < 0.01$). In the MCH habitat, the individual number showed a significantly positive correlation between the phytophagous and the predatory insects (Ph-Pr) ($P < 0.05$), while a significantly negative correlation between the neutral and the predatory insects (Ne-Pr) ($P < 0.01$). Additionally, in the LHT habitat, the individual number showed a significantly negative correlation between the neutral and the predatory insects (Ne-Pr) ($P < 0.05$). Finally, the individual number in other combinations among the four functional groups did not show any significant correlation in all the four habitats. The predatory species group was the main component that affected the composition of the insect community based on principal component analysis (PCA). For the diversity analysis of the same functional group in the four habitats, there was a significant difference between the predatory (Pr) and the parasitic (Pa) functional groups based on the Simpson index ($P < 0.05$), while there was no significant difference between the phytophagous (Ph) and the neutral (Ne) functional groups based on the Simpson index ($P > 0.05$). Based on the Shannon-Wiener index, there was no significant difference among the neutral (Ne) functional groups in the four habitats ($P > 0.05$), while there was a significant difference among the neutral (Ne) functional groups in the four habitats based on Pielou evenness index ($P < 0.05$). Based on the Shannon-Wiener indices for the other three functional groups, there were significant differences among the four habitats ($P < 0.05$), while they had no significant differences in the Pielou evenness index ($P > 0.05$). The cluster analysis showed that the four types of wetlands were divided into two categories based on the characteristic index of insect communities, the first was permanent wetlands including HH and MCH, and the second was seasonal wetlands including LHT and SDG. Based on the stability index, the highest stability was found in the MCH habitat. The most stable periods for insect communities in different habitats were in May and September annually. 【Conclusion】 Diptera and Hymenoptera are the dominant groups in different wetland habitats in Yinchuan, and can be used as environmental indicators. The insect communities in the permanent lake wetland show the highest stability. The diversities of the insect communities in different habitats change with the seasons, and the most stable periods are in May and September annually. How the climatic factors and environmental factors drive the diversity to change and what factors affect the stability of insect communities in different wetlands remain to be studied.

Key words: Insect community; functional group; community diversity; community stability; wetlands

湿地是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统,也是人类重要的生存环境。它不但具有巨大的环境调节功能和环境效益,而且还具有丰富的生物资源,是一个巨大的物种基因库(陈宜瑜和吕宪国, 2003)。昆虫在湿地生态系统中种类繁多,群落结构复杂,是湿地生物多样性的的重要组成部分(仲雨

霞和付必谦, 2013);其在湿地能量营养级的消费、运输和维持植物群落结构稳定性等方面具有重要作用(苏兰等, 2012),也是湿地其他生物的重要食物来源(Xiong *et al.*, 2010)。而且昆虫对于生境变化具有较高灵敏性,可作为监测生境和生物多样性变化的指示性物种(Eyre *et al.*, 1996),对维持生态平

衡起了重要作用。宁夏湿地面积为 25.6 万 ha, 占全区国土总面积的 4.9%, 是中国西北地区湿地资源最为丰富、最具代表性的省区(刘晓红, 2009)。

长期以来, 国内外的很多学者都将昆虫群落多样性的研究与区域性昆虫群落组成、昆虫功能团、昆虫群落稳定性等相互联系起来, 在探讨生物多样性的理论意义方面取得了重要进展(Plazaec *et al.*, 2014; de Vos *et al.*, 2015), 如: 尤平等(2006)对天津湿地蛾类的昆虫多样性研究; 陈连水等(2018)对鄱阳湖保护区春季岛屿滩涂湿地蜘蛛和昆虫多样性的调查分析; 潘卉等(2017)揭示互花米草 *Spartina alterniflora* 入侵对盐沼湿地昆虫不同功能群组成特征和时间动态的影响, 这些研究在一定程度上揭示了昆虫在湿地环境起的重要作用。关于宁夏湿地昆虫群落研究的相关文献仅见黄河湿地(张大治等, 2007; 王新谱等, 2008)、水洞沟湿地(王建芳和王新谱, 2010)、芦花台湿地(杨贵军和王新谱, 2013)和灵武白芨滩(李迎运和张大治, 2015; 王燕和张大治, 2015)等; 以上相关湿地的研究仅从区系、群落、物种多样性进行研究报告, 本研究拟从功能多样性角度进行报道。

近年来, 生物多样性研究已从群落物种多样性拓展至功能多样性层面, 使用功能性状表征功能组成及功能多样性是当前昆虫生态学研究热点之一(蒋万祥等, 2017)。利用群落中功能团的多样性替代对物种多样性的研究(姜双林, 2007), 不但可以使复杂的网络结构简单化, 还能使不同类群间的关系更加清晰(王建红等, 2008)。因此, 本研究利用群落中功能团的多样性替代物种多样性, 通过对银川 4 种湿地昆虫群落的调查, 以期探明不同湿地昆虫群落的生物资源现状、群落多样性变化; 同时探明同一功能团的昆虫在 4 种湿地间是否存在差异, 为进一步探讨银川湿地的科学管理与保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

根据唐小平和黄桂林(2003)对中国湿地的分类系统划分, 宁夏湿地类型主要是河流湿地和湖泊湿地。选取了宁夏银川市 4 个典型湿地: 黄河湿地(Yellow River wetland, HH)、鸣翠湖湿地(Mingcui Lake wetland, MCH)、芦花台湿地(Luhutai wetland, LHT)和水洞沟湿地(Shuidonggou wetland, SDG)。使用 Google earth 测量各湿地间的直线距

离: 鸣翠湖湿地至黄河湿地、水洞沟湿地、芦花台湿地距离分别为 11.2, 15.9 和 27.6 km; 芦花台湿地至黄河湿地、水洞沟湿地距离分别为 35.4 和 43.3 km; 黄河湿地至水洞沟湿地距离为 13.6 km。4 个湿地分别代表 4 种湿地类型, 各湿地生境概况见表 1。

1.2 昆虫采集和物种鉴定

同一湿地各选取生境类型相似的 5 块样地, 样地间相距 200 m 以上; 主要采用网捕法与陷阱捕捉法。网捕法主要采用棋盘式扫网(80 目, 网口直径 35 cm)采集植被层与飞行活动的昆虫, 每样地取 50 网(每一次扫 180°为 1 网)。地表昆虫采用陷阱捕捉, 随机在样地内选取 5 点, 每点为 1 m × 1 m 样方取样, 一个样方放 3 个诱杯(高 12 cm, 口径 9.5 cm), 诱杯放置 3 d(杨益春等, 2017)。2016 年 5 – 10 月, 约 20 d 采集一次, 每次采集均在上午 9:30 – 12:30 之间, 遇到雨天顺延, 全年共调查 11 次。

采集的昆虫先用 75% 的酒精保存, 然后带回室内鉴定并统计数据, 物种鉴定主要依据国内相关著作(郑乐怡和归鸿, 1999)进行, 疑难物种请相关专家协助鉴定。采集的所有标本均保存于宁夏大学农学院昆虫标本室。

1.3 群落结构和多样性分析

1.3.1 营养结构与类群的划分: 根据顾伟等(2011)提出的划分方法, 将昆虫群落分为 4 个功能团: 植食性昆虫(Ph)、捕食性昆虫(Pr)、寄生性昆虫(Pa)和中性昆虫(Ne)。个体数量占捕获总量的 10.0% 以上者为优势类群, 占 1.0% ~ 10.0% 者为常见类群, 不足 1.0% 者为稀有类群(王建芳和王新谱, 2010)。

1.3.2 群落稳定性: 群落稳定性采用高宝嘉等(1992)提出的 Ss/Si (种类数/个体数) 和 Sa/Sp (天敌种数/植食性昆虫种数), 对群落相对稳定性进行比较与分析, Ss/Si 反映种类间数量上的制约作用, Sa/Sp 则反映群落内部食物网络关系的复杂性及相互制约的程度, 该值越大说明群落稳定性越强。

1.3.3 物种累积曲线: 利用 EstimateS (Version 9.1.0) 计算物种 ACE (abundance-based coverage estimator) 值和 ICE (incidence-based coverage estimator) 值, 以此来度量昆虫群落多样性, 并根据曲线的特征进行抽样充分性判断(李巧等, 2009; Chen *et al.*, 2011)。

1.3.4 多样性分析: 香农-维纳指数 (Shannon-Wiener index, H'), 计算公式: $H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$, 相对多度 $P_i = N_i/N$, P_i 是第 i 种个体数占总个体数

表 1 本研究调查的银川 4 种湿地生境概况

Table 1 Basic information of four wetland habitats in Yinchuan surveyed in this study

生境 Habitats	地点 Locality	地理坐标 Geographical coordinates	湿地类型 Wetland types	土壤类型 Soil types	样地面积 Sampled area (m ²)	植被盖度 Vegetation coverage	主要植被 Dominant plant species
HH	横城村黄河段 Yellow River section of Hengcheng Village	106°24. 781' – 106°24. 812' E, 38°21. 813' – 38°21. 836' N	永久性河流湿地	淤泥沼泽土	850. 16	90% – 95%	芦苇 <i>Phragmites australis</i> , 苣荬菜 <i>Sonchus brachyotus</i>
			Permanent river wetland	Mud bog soil			
MCH	鸣翠湖国家湿地公园 Mingcui Lake National Wetland Park	106°22. 109' – 106°22. 129' E, 38°23. 989' – 38°24. 003' N	永久性湖泊湿地	草甸沼泽土	533. 3	85% – 90%	芦苇 <i>Phragmites australis</i> , 蒙古香蒲 <i>Typha daurica</i> , 盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i> , 盐地 碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>
			Permanent lake wetland	Meadow marsh soil			
LHT	芦花台 Luhutai	106°11. 116' – 106°11. 146' E, 38°36. 587' – 38°36. 609' N	季节性湖泊湿地	沼泽盐土	6 250	85% – 90%	蒙古香蒲 <i>Typha daurica</i> , 芦苇 <i>Phragmites australis</i> , 盐地碱蓬 <i>Suaeda salsa</i> , 中 亚滨藜 <i>Atriplex centralasiatica</i> , 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> , 桤柳 <i>Tamarix chinensis</i>
			Seasonal lake wetland	Saline swamp			
SDG	水洞沟 Shuidonggou	106°29. 925' – 106°30. 006' E, 38°17. 862' – 38°17. 903' N	季节性河流湿地	盐化草甸土	7 160. 22	45% – 50%	芦苇 <i>Phragmites australis</i> , 蒙古香蒲 <i>Typha daurica</i> , 盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i> , 盐地 碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>
			Seasonal river wetland	Salinized meadow soil			

HH: 黄河湿地 Yellow River wetland; MCH: 鸣翠湖湿地 Mingcui Lake wetland; LHT: 芦花台湿地 Luhutai wetland; SDG: 水洞沟湿地 Shuidonggou wetland. 下同 The same below.

的比率, N_i 是第 i 种的个体数, N 是总个体数。

均匀度指数 (Pielou evenness index, J), 计算公式: $J = \frac{H'}{\ln S}$, S 是物种数, H' 为香农-维纳指数。

辛普森指数 (Simpson index, C), 计算公式: $C = \sum_{i=1}^S \left(\frac{N_i}{N} \right)^2$ (张金屯, 2011)。

1.3.5 主成分分析和聚类分析: 以 11 次调查的数据为样本, 以 4 种功能团的物种数量和个体数量为变量, 进行主成分分析, 计算各因子的特征向量和累计贡献率。以全年统计各样地的 11 次调查结果的香农-维纳指数 (H')、均匀度指数 (J)、辛普森指数 (C)、不同生境下的物种数和个体数为聚类分析的属性特征值来进行 Bray-Curtis 聚类分析 (吴龙飞等, 2017)。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据汇总整理、Past (Version2. 03) 进行 Bray-Curtis 聚类分析, Canoco (5.0 版) 进行 PCA 绘图, 采用 SPSS 12 的 Duncan 氏新复极差法对各样地数据进行单因素方差分析及显著性检测分析, 作图采用 Origin Pro8。

2 结果

2.1 银川不同生境中昆虫的物种组成及群落结构

2.1.1 物种组成: 共获得昆虫标本 38 668 号, 隶属 13 目 97 科 370 种 (表 2)。其中, 双翅目 (Diptera)

昆虫 145 种, 占总种数的 39. 19%; 膜翅目 (Hymenoptera) 昆虫 71 种, 占总种数的 19. 19%; 鞘翅目 (Coleoptera) 昆虫 40 种, 占总种数的 10. 81%; 半翅目 (Hemiptera) 昆虫 30 种, 占总种数的 8. 11%; 同翅目 (Homoptera) 27 种, 占总种数的 7. 30%; 蜻蜓目 (Odonata) 昆虫 20 种, 占总种数的 5. 41%; 其余各目种数较少, 占总种数的比例不超过 5 %。昆虫个体数量数据显示, 双翅目占总数量的 44. 45%, 同翅目占总数量的 16. 33%, 膜翅目占总数量的 8. 57%, 半翅目占总数量的 7. 20%, 直翅目占总数量的 6. 68%, 缨翅目占总数量的 5. 54%, 其余各目个体数量较少, 占总个体数的比例不超过 5%。

4 种生境类型中昆虫种类数量由高到低依次为: SDG > MCH > HH > LHT, 个体数量由高到低依次为: MCH > HH > SDG > LHT (表 3)。不同生境类型昆虫的优势类群: HH 为双翅目 (52. 31%)、直翅目 (18. 25%)、同翅目 (13. 68%); MCH 为双翅目 (37. 31%)、同翅目 (14. 47%)、缨翅目 (12. 04%)、膜翅目 (10. 65%) 和鳞翅目 (10. 06%); LHT 为双翅目 (57. 47%)、同翅目 (20. 23%); SDG 为双翅目 (33. 21%)、同翅目 (18. 30%)、半翅目 (16. 64%) 和膜翅目 (13. 20%)。总体来看, 双翅目、同翅目、膜翅目在每种生境类型中均为优势类群。双翅目优势类群为摇蚊科 (Chironomidae) 和蚊科 (Culicidae), 同翅目优势类群为蚜科 (Aphididae) 和叶蝉科 (Cicadellidae), 膜翅目优势类群为蚁科 (Formicidae) 和金小蜂科 (Pteromalidae)。

表 2 银川调查湿地中的昆虫群落组成
Table 2 Composition of insect communities in the studied wetlands in Yinchuan

目 Order	科数 Number of families	比例 (%) Proportion	种数 Number of species	比例 (%) Proportion	个体数 Number of individuals	比例 (%) Proportion
蜻蜓目 Odonata	4	4. 13	20	5. 41	1 168	3. 02
螳螂目 Mantodea	2	2. 06	2	0. 54	14	0. 04
革翅目 Dermaptera	1	1. 03	2	0. 54	20	0. 05
直翅目 Orthoptera	8	8. 25	13	3. 51	2 585	6. 68
缨翅目 Thysanoptera	3	3. 09	6	1. 62	2 145	5. 54
同翅目 Homoptera	5	5. 15	27	7. 30	6 315	16. 33
半翅目 Hemiptera	8	8. 25	30	8. 11	2 783	7. 20
脉翅目 Neuroptera	1	1. 03	1	0. 27	18	0. 05
鞘翅目 Coleoptera	12	12. 37	40	10. 81	1 651	4. 27
双翅目 Diptera	29	29. 90	145	39. 19	17 186	44. 45
毛翅目 Trichoptera	1	1. 03	1	0. 27	4	0. 01
鳞翅目 Lepidoptera	6	6. 19	12	3. 24	1 466	3. 79
膜翅目 Hymenoptera	17	17. 53	71	19. 19	3 313	8. 57
合计 Total	97	100. 00	370	100. 00	38 668	100. 00

2.1.2 银川 4 种湿地中昆虫功能团相关性及其主成分分析:昆虫功能团科数占比由高到低依次为 HH: Ph > Pa > Pr > Ne; MCH, LHT 和 SDG: Ph > Pr > Pa > Ne;昆虫功能团种数占比由高到低依次为 HH 和 LHT: Ph > Ne > Pr > Pa; MCH: Ph > Ne > Pa > Pr; SDG: Ph > Pr > Ne = Pa。银川 4 种湿地生境昆虫群落功能团中植食性昆虫的科数和种数占比均最大,分别为 HH: 48. 15% 和 41. 63%; MCH: 43. 21% 和 43. 17%; LHT: 47. 14% 和 44. 70%; SDG: 48. 24% 和 42. 76% (表 4)。Ph-Ne 个体数在 4 种生境下均存在极显著负相关($r_{HH} = -0.89, P < 0.01$; $r_{MCH} = -0.77, P < 0.01$; $r_{LHT} = -0.76, P < 0.01$; $r_{SDG} = -0.80, P < 0.01$)。Ph-Pa, Ne-Pa 和 Pa-Pr 个体数在 4 种生境下没有发现功能团类群间的显著相关性。Ph-Pr 个体数在 MCH 生境下存在显著正相关($r = 0.66, P < 0.05$),在其他 3 个生境下相关性不显著。Ne-Pr 个体数在 MCH 生境下存在极显著负相关($r = -0.74, P < 0.01$),在 LHT 生境下存在显著负相关($r = -0.64, P < 0.05$),在 HH 和 SDG 生境下不存在显著相关性(表 5)。

HH 生境昆虫群落组成的主要影响因子是捕食性昆虫物种数。捕食性昆虫个体数和中性昆虫个体数是影响 LHT 生境的主要因子。MCH 生境的第 1

主成分代表寄生性昆虫个体数、中性昆虫物种数的综合因子,是影响昆虫群落的主要因子;第 2 主成分代表捕食性昆虫个体数、中性昆虫个体数、寄生性昆虫物种数的综合因子;第 3 主成分代表植食性昆虫物种和个体数的综合因子。SDG 生境的第 1 主成分代表捕食性昆虫物种数、植食性昆虫个体和物种数的综合因子;第 2 主成分代表寄生性昆虫物种数;第 3 主成分代表中性昆虫物种数和寄生性昆虫个体数的综合因子(图 1)。第 1 轴的特征值和贡献率分别为 0.695 和 69.5%,第 2 轴的特征值和贡献率分别为 0.256 和 25.7%,第 3 轴的特征值和贡献率分别为 0.048 和 4.8%,前两轴累积贡献率达 95.2%,3 轴特征值总和为 1(表 6)。

表 5 银川 4 种湿地生境中昆虫功能团间个体数的相关系数
Table 5 Correlation coefficients of the individual number between functional groups of insects in four wetland habitats in Yinchuan

生境 Habitat	Ph-Ne	Ph-Pa	Ph-Pr	Ne-Pa	Ne-Pr	Pa-Pr
HH	-0.89 **	-0.44	-0.06	0.09	-0.38	0.43
MCH	-0.77 **	-0.32	0.66 *	-0.33	-0.74 **	-0.05
LHT	-0.76 **	0.11	0.02	-0.33	-0.64 *	0.11
SDG	-0.80 **	-0.22	0.01	-0.23	-0.14	-0.55

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$ (Pearson $\pm 95\%$).

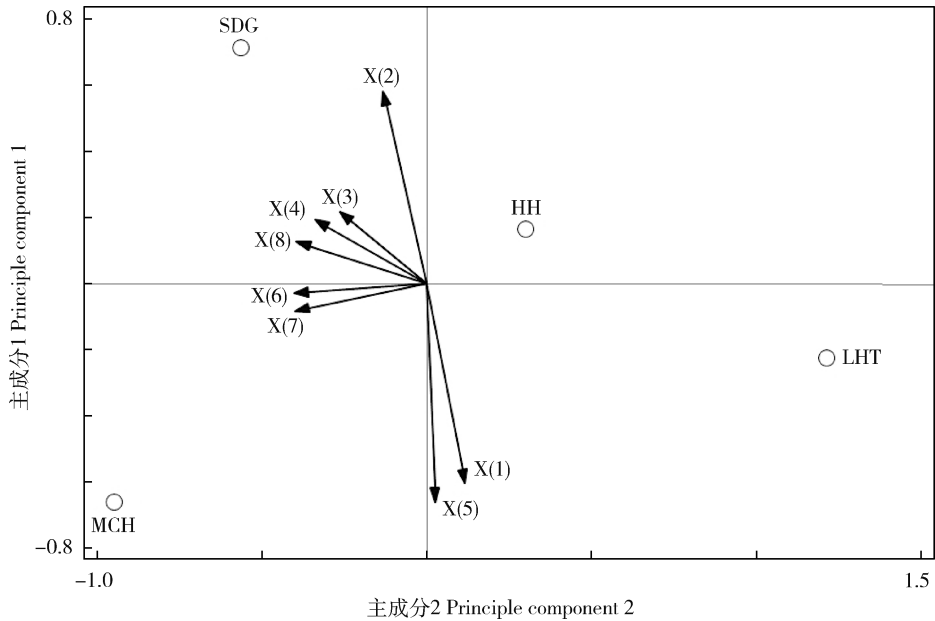


图 1 银川 4 种湿地生境中的昆虫群落主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis of insect community in four wetland habitats in Yinchuan

X(1): 捕食性个体数 Number of predatory individuals; X(2): 捕食性物种数 Number of predatory species; X(3): 植食性个体数 Number of phytophagous individuals; X(4): 植食性物种数 Number of phytophagous species; X(5): 中性个体数 Number of neutral individuals; X(6): 中性物种数 Number of neutral species; X(7): 寄生性个体数 Number of parasitic individuals; X(8): 寄生性物种数 Number of parasitic species.

表 6 银川 4 种湿地生境中昆虫群落的主成分分析特征值
Table 6 Eigenvalue of principal component analysis of insect community in four wetland habitats in Yinchuan

	轴 Axes			
	1	2	3	4
特征值 Eigenvalues	0.695	0.256	0.048	0
累积贡献率(%) Cumulative contribution	69.5	95.2	100	0

2.2 银川 4 种生境中的昆虫群落多样性

2.2.1 物种累积曲线:4 种生境的物种曲线随调查日期逐渐上升(图 2)。HH 生境的 ACE 值为 75.50, ICE 值为 79.15, 即对调查生境目标昆虫的物种丰富度估计值为 76 种和 79 种。从抽样效果

看,实际采集物种数目(72 种)占总物种(物种丰富度估计值)的 91%~95%。MCH 生境的 ACE 值为 86.29, ICE 值为 86.95, 即对调查生境目标昆虫的物种丰富度估计值为 86 种和 87 种。由抽样效果得出,实际采集物种数(81 种)占总物种的 93%~94%。LHT 生境的 ACE 值为 60.80, ICE 值为 63.22, 即对调查生境目标昆虫的物种丰富度估计值为 61 种和 63 种。可知,实际采集物种数(56 种)占总物种的 89%~92%。SDG 生境的 ACE 值为 80.55, ICE 值为 85.27, 即对调查生境目标昆虫的物种丰富度估计值为 81 种和 85 种。从抽样结果知,实际采集物种数(78 种)占总物种的 92%~96%。4 种生境的物种数均在 89% 以上,采集效果较好。

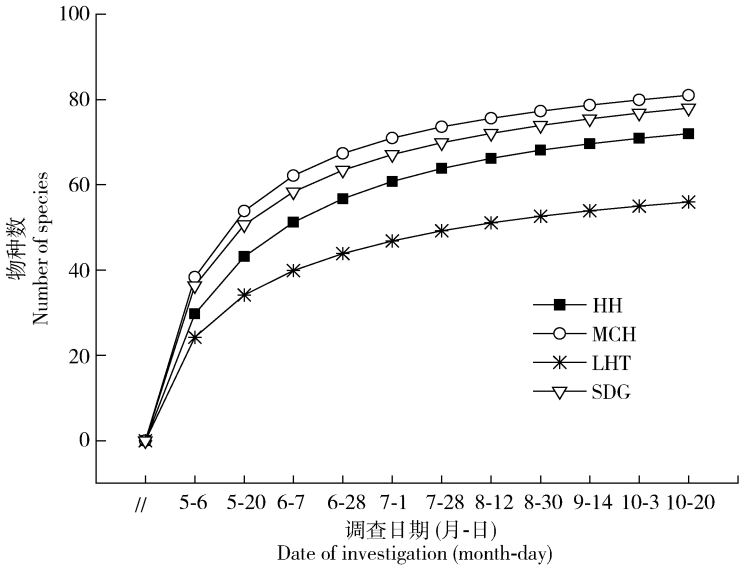


图 2 基于调查日期的银川 4 种湿地生境中的昆虫种累计曲线
Fig. 2 Cumulative curve of insect species in four wetland habitats in Yinchuan based on the survey date

2.2.2 多样性分析:Pr 在 MCH 和 LHT 生境下的群落丰富度、均匀程度无显著性差异 ($P > 0.05$), 在 HH 和 SDG 生境下存在显著性差异 ($P < 0.05$)。Ph 和 Ne 在 3 种生境下的群落丰富度、均匀程度均无显著性差异 ($P > 0.05$)。Pa 的群落丰富度、均匀程度在 HH 和 MCH 生境下不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 在 LHT 和 SDG 生境下也不存在显著性差异 ($P > 0.05$); Pa 的群落丰富度、均匀程度在 HH 和 MCH 生境与在 LHT 和 SDG 生境存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 3: A)。

Pr 和 Ph 在 HH, MCH 和 LHT 3 种生境的个体出现不确定程度(香农-维纳指数 H')不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 在 MCH 和 SDG 生境也不存在显

著差异性 ($P > 0.05$); Pr 和 Ph 的 H' 在 SDG 生境以及在 HH 和 LHT 生境存在显著性差异 ($P < 0.05$)。Ne 在 4 种生境的 H' 均不存在显著差异性 ($P > 0.05$)。Pa 在 HH, MCH 和 SDG 3 种生境的 H' 均不存在显著性差异 ($P > 0.05$), Pa 在 HH, MCH 和 SDG 生境的 H' 与在 LHT 生境的 H' 存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 3: B)。

Pr, Ph 和 Pa 在 4 种湿地生境的 Pielou 均匀度指数均不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。Ne 在 HH 和 LHT 生境的 Pielou 均匀度指数均不存在显著性差异 ($P > 0.05$); Ne 在 MCH 生境的 Pielou 均匀度指数与在 SDG 生境间存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 3: C)。

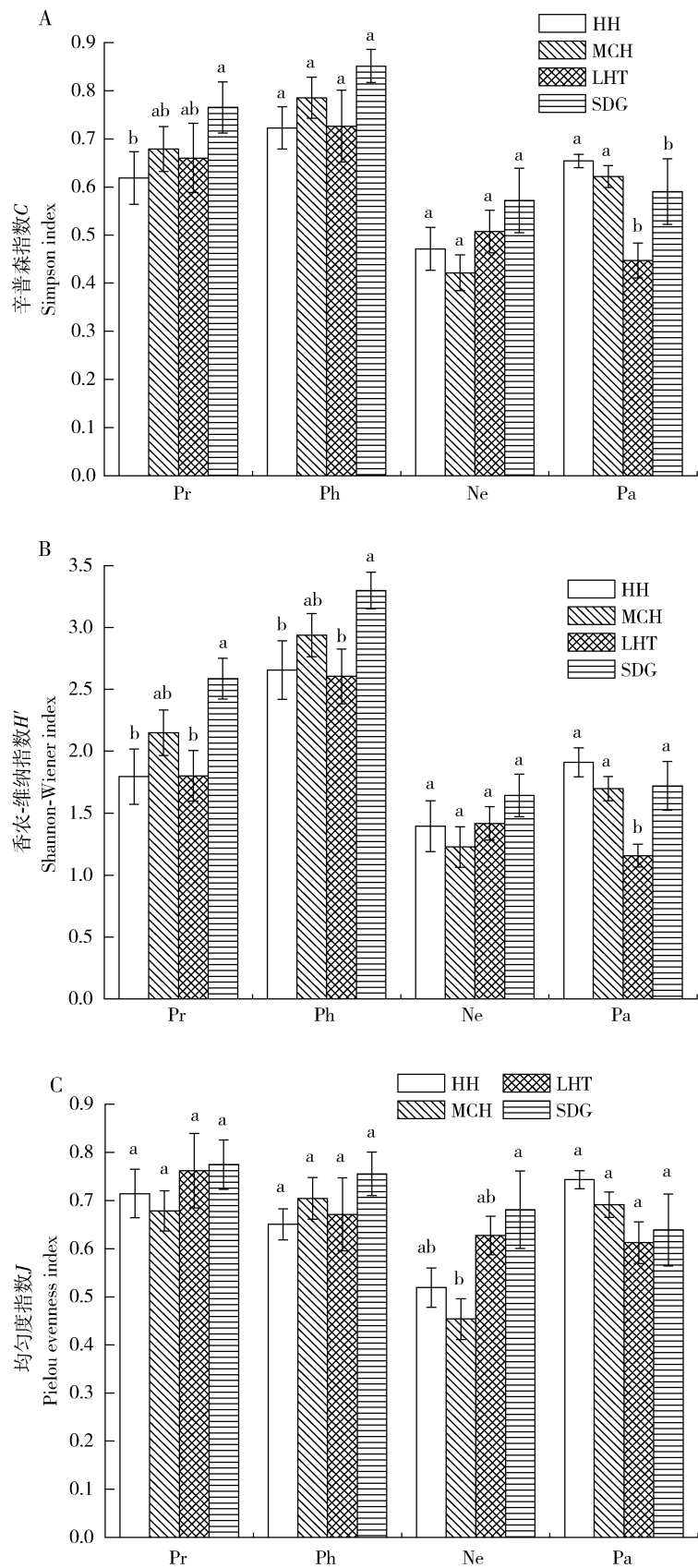


图3 同种功能团多样性指数在银川4种湿地生境的多重比较

Fig. 3 Multiple comparison of the diversity indexes of the same insect functional group among four wetland habitats in Yinchuan
Pr: 捕食性昆虫 Predatory insects; Ph: 植食性昆虫 Phytophagous insects; Ne: 中性昆虫 Neutral insects; Pa: 寄生性昆虫 Parasitic insects.

2.3 不同生境昆虫群落相似性

由图 4 可得,4 种湿地昆虫群落特征指数聚类后可分为 2 类,第 1 类:HH 和 MCH,相似性系数为 0.926;第 2 类:LHT 和 SDG,相似性系数为 0.968。

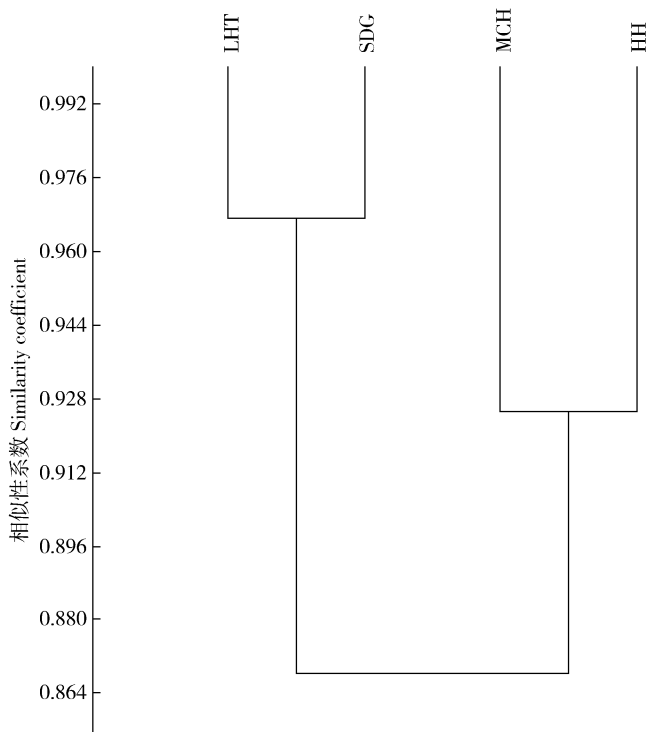


图 4 银川 4 种湿地生境中昆虫群落聚类图
Fig. 4 Cluster dendrogram of insect community in four wetland habitats in Yinchuan

2.4 不同生境昆虫群落稳定性的季节变化分析

昆虫群落稳定性在 5 月至 10 月的 S_s/S_i 值排序分别为:10 月(0.18) > 9 月(0.17) > 6 月(0.16) > 5 月(0.12) > 8 月(0.11) > 7 月(0.10);在 4 种生境的 S_s/S_i 值排序分别为: MCH (0.16) > LHT (0.15) > SDG(0.14) > HH(0.12)。从 S_a/S_p 指标分析,月份稳定性排序为:5 月(0.78) > 9 月(0.77) > 7 月(0.74) > 8 月(0.73) > 6 月(0.72) > 10 月(0.67);生境排序为: MCH(0.81) > SDG(0.77) > HH(0.75) > LHT(0.61);MCH 和 SDG 在各自群落内部食物网络关系均比 LHT 和 HH 群落复杂且相互制约程度高,LHT 在 4 种生境中食物网络关系最弱。由 S_s/S_i 和 S_a/S_p 两个指标,MCH 湿地群落稳定性最好,5 和 9 月是 4 种生境昆虫群落最稳定的时期(图 5)。

3 讨论与结论

3.1 不同湿地类型昆虫群落组成及功能团结构

通过对 4 种不同湿地类型昆虫群落的研究表

明:共采集到昆虫 13 目 97 科 370 种 38 668 号标本,与许扬等(2008)在 2008 年报道的采集结果差异较大,主要与近年人为种植苜蓿等植被相关,提高了各湿地植被盖度,改善了昆虫的栖息环境(姜双林,2007)。本次调查的 4 种湿地昆虫群落数据与已报道的湿地昆虫群落数据(王新谱等,2008;王建芳和王新谱,2010;杨贵军和王新谱,2013)比较可知:除未见报道的鸣翠湖湿地外,其余 3 个湿地昆虫群落所属目、科与已报道的湿地昆虫群落所属阶元均一致,仅在个体数上有所差异,说明银川湿地昆虫群落的高级阶元多样性变化较小,而个体数量差异主要由采集天气、方法及数据统计等因素引起的误差。4 种湿地昆虫群落组成中双翅目共采集到 17 186 号标本,隶属 29 科 145 种,占总科数的 29.9%,占总种数的 39.19%,占总个体数的 44.45%;膜翅目共采集到 3 313 号标本,隶属 17 科 71 种,占总科数的 17.53%,占总种数的 19.19%,占总个体数的 8.57%。说明双翅目和膜翅目是银川湿地昆虫群落的优势类群,该结果与国内相关研究(苏兰等,2012;王珊珊等,2012)报道的双翅目

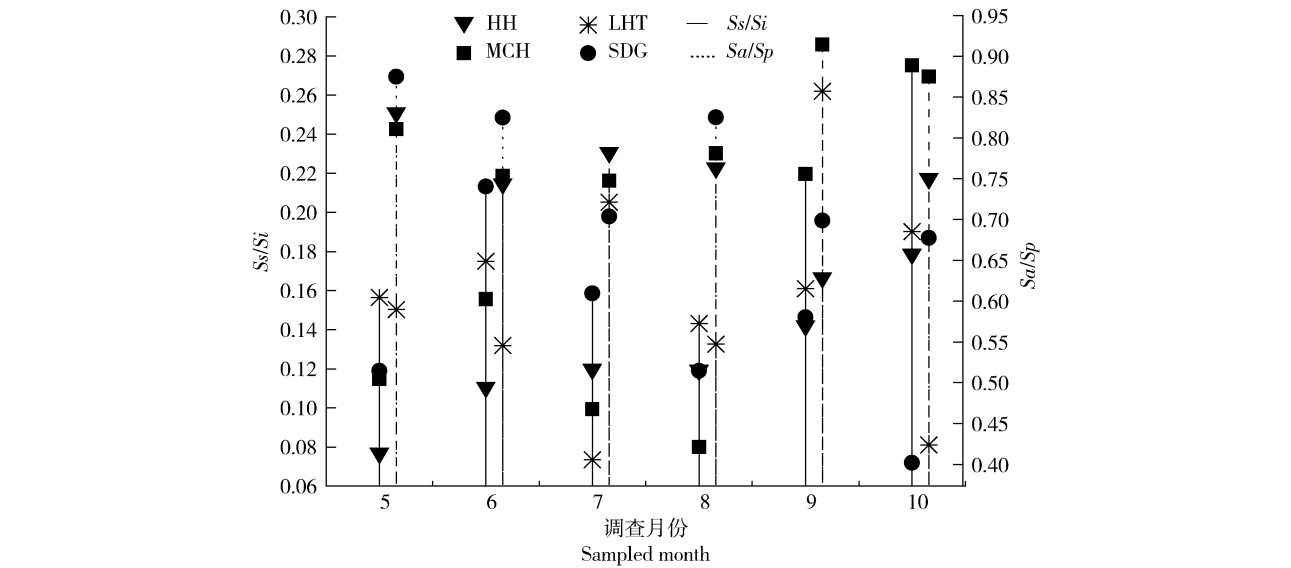


图5 银川4种湿地生境中昆虫群落稳定性的季节变化

Fig. 5 Seasonal changes of insect community stability in four wetland habitats in Yinchuan

和膜翅目在各类型湿地中为优势类群的结果基本一致。因此进一步说明了部分昆虫类群可作为评价某一生态系统或环境的指示物种 (Tchakonté *et al.*, 2015), 在今后开展筛选环境指示生物的工作中需特别重视优势目的昆虫, 如优势类群双翅目中的摇蚊科对环境的变化具较强的灵敏性 (胡忠军等, 2009)。此外, 生境的不同导致目级水平的昆虫群落组成有一定的差异性, 螳螂目昆虫见于水洞沟和鸣翠湖湿地, 革翅目昆虫见于水洞沟和芦花台湿地, 毛翅目昆虫仅在芦花台湿地采集到, 主要原因可能是采集过程中协助采集人员的不固定, 造成昆虫种类在多样地的采集存在误差。螳螂目喜捕食蝗虫、双翅目成虫、鳞翅目幼虫和同翅目昆虫 (陈振耀等, 2001), 在种内也存在着自相残杀的捕食现象, 构成了错综复杂的食物网关系, 不仅维持了生态平衡, 也保持了物种多样性。革翅目昆虫中部分属完全捕食性昆虫, 如拟垫跗蠼螋 *Proreus simulans* (游兰韶等, 1997), 捕食效率高、范围广, 是一类有价值的天敌昆虫。李再培和周晏敏 (2001) 研究表明毛翅目幼虫可作为水质监测的指示生物。本研究中 4 个样点的相互直线距离均大于 10 km, 最远直线距离可达 43.3 km; 鸣翠湖湿地和黄河湿地相距 11.2 km, 不排除迁飞能力较强的物种如鳞翅目昆虫粘虫 *Mythimna separata*、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*、旋幽夜蛾 *Scotogramma trifolii* 等 (江幸福等, 2016) 相互迁飞转移。但这些鳞翅目昆虫均为农业迁飞性害虫, 本研究因调查生境为湿地, 且采集

到的夜蛾科 (Noctuidae) 和螟蛾科 (Pyralidae) 昆虫中未发现迁飞能力较强的昆虫, 因此迁飞转移因素对本实验的影响可不计。

湿地昆虫在湿地生态系统的物质和能量流动及转化中起着非常重要的作用 (韩争伟等, 2014), 所以对湿地昆虫群落中不同功能结构的相关性研究, 可以了解昆虫功能团对湿地生境营养资源的利用情况及相互关系。本研究在鸣翠湖湿地得出了植食性昆虫与捕食性昆虫个体数之间存在显著的正相关, 与童春富 (2012) 在互花米草、芦苇和海三棱藨草植物群落带中报道的结果相一致。植食性-中性昆虫个体数在 4 种湿地生境下均存在极显著负相关, 这可能与中性昆虫对食物来源选择偏好性不强有关, 植食性昆虫通常以植物的次生物质作为信息化合物或取食刺激剂进行取食 (王政等, 2014)。植食性-寄生性、中性-寄生性昆虫个体数在 4 种湿地生境下均不存在显著相关性, 主要由于人为种植植被改变了植物群落的空间结构, 影响了天敌昆虫的捕食和寄生性昆虫的搜索行为, 从而影响天敌昆虫的分布和种群数量 (Bezemer *et al.*, 2014)。昆虫群落特征指数是反映群落结构水平的重要依据, 不仅代表了群落的多样性、丰富度、均匀度等变化规律, 在一定程度上也体现了其所处的地理、生存环境状况 (孙儒泳, 2001)。本研究结果表明: 植食性、捕食性和中性昆虫在水洞沟湿地的 Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 指数最高, 说明水洞沟湿地生境的环境条件适于这 3 类功能团的昆虫群落

生存,且反映出昆虫群落结构组成在水洞沟较为复杂。寄生性昆虫在黄河湿地群落多样性最高,主要原因是膜翅目寄生昆虫偏好芦苇分布,很多寄主属于芦苇上的植食性昆虫,如蚜科(Aphididae)。因此,考虑湿地类型对昆虫群落多样性的影响时,不仅要考虑昆虫生境的植被类型,还要考虑昆虫群落功能团的食性影响。

3.2 不同湿地类型昆虫群落的主成分分析、聚类分析及稳定性的季节变化

对昆虫进行功能类群划分可以直观地了解昆虫群落的组成情况,同时同一类群中不同种类的昆虫在食性与功能上相似,在生态系统有着相近的生态作用,可以很好地说明生态系统的发展情况及健康状况(林琳等, 2013)。通过研究不同湿地类型与功能类群的关系及其对不同功能类群影响,主成分分析结果表明,不同生境的主导因子各有不同,但捕食性类群是4个类群中构成昆虫群落组成的主要成分。此结果与柴正群等(2016)在混交地夏玉米田中的研究结果相似,虽然生境差异较大,但双翅目与膜翅目昆虫个体小、繁殖快、生活史短等特点,是它们成为各生境主导群落变化的关键因素。其中,在湿地生态系统中捕食性和寄生性昆虫构成天敌类群对植食性昆虫的控制作用较强,使湿地内的食物网、营养级关系更加复杂,是影响昆虫结构稳定性的重要因素。群落相似性分析显示,鸣翠湖湿地和黄河湿地的昆虫群落结构与芦花台湿地和水洞沟湿地生境昆虫群落结构相似性差异较大,主要由于前两者属于永久性湿地,湿地水资源变化较小,后两者属于季节性湿地,受降雨等气候因子影响较大,且水洞沟湿地地理位置独特,样地位于毛乌素沙漠的南缘及沙漠与黄土界线附近(李秉成, 2006),整体景观为荒漠,虽然植被盖度低,但植被种类丰富,表明湿地类型对昆虫物种组成变化有一定影响。

昆虫群落的相对稳定性长期倍受关注,其表述及成因方式较为多样(贺达汉等, 2001; 刘晨等, 2010)。在利用 Ss/Si 和 Sa/Sp 这两个稳定性指数来分析银川湿地昆虫群落稳定性时发现,调查期间两个指数在不同湿地类型中波动较大,鸣翠湖湿地在4种湿地类型中群落稳定性最好,4种生境昆虫群落最稳定的时期为5和9月。究其原因,5-6月是各湿地植被返青的季节,气温明显回升,环境湿度较低,湿地昆虫处于出蛰活动状态,昆虫群落个体数、物种数变化较小,多样性指数变化幅度较为稳定;7-8月,高温多雨,食物丰富,整体环境较好,昆

虫繁殖迅速,造成群落物种数、个体数和多样性指数都较大,昆虫群落结构较为复杂,但稳定性较差;9-10月各湿地进入枯水期,气温下降,食物匮乏,部分昆虫死亡或越冬,使群落中功能团数、个体数和多样性指数均变小,趋于稳定。此外,5-7月温度逐渐升高,4种湿地水分蒸腾量加大,盐渍化程度增强,众多盐生植物如芦苇、盐爪爪、盐地碱蓬等开始替代沙生植物,成为植物群落的主要优势种(马玉等, 2015),植物物种多样性和丰富度逐渐提高,喜欢此类植株的昆虫类群多样性也逐渐升高。鸣翠湖湿地为永久性湖泊湿地,受枯水期影响小于其他湿地,故在4种生境的昆虫群落稳定性最好。以上结果反映了气温、降雨、植被、食物资源等因子的变化会明显影响不同湿地昆虫群落的稳定性。

另外,各样地均靠近景区,由于旅游发展人工扰动明显,部分区域种植苜蓿,且有人工刈割等管理措施干扰,这也是影响昆虫群落稳定性的因素之一,至于旅游区和非旅游区昆虫群落变化有何不同? 何种气候因子、环境因素对各湿地昆虫群落变化及稳定性的影响起驱动因素还有待开展研究。本次调查为今后开展湿地指示生物筛选、昆虫群落生态位变化及湿地保护等领域的深入研究提供了一定的数据基础,也为相关部门对湿地环境的评判提供了多维的科学视角;通过昆虫群落的多样性指数与传统的环境评价指标相结合,能较为全面地评价湿地环境的多样性。

致谢 衷心感谢为本文提供过标本鉴定协助和信息的各位专家,特别感谢中国农业大学杨定教授及姚刚博士在标本鉴定中给予的帮助! 感谢中国科学院动物研究所白明副研究员对本文英文摘要的修改润色!

参考文献 (References)

- Bezemer TM, Harvey JA, Cronin T, 2014. Response of native insect communities to invasive plants. *Annu. Rev. Entomol.*, 59: 119-141.
- Chai ZQ, Ke SJ, Huang J, Huang YM, Jia YC, 2016. Arthropod community characteristics and stability in summer maize fields with different planting environments. *Chin. J. Ecol.*, 35(12): 3306-3314. [柴正群, 可胜杰, 黄吉, 黄钰森, 贾永超, 2016. 不同种植环境夏玉米田节肢动物群落特征及稳定性. *生态学杂志*, 35(12): 3306-3314]
- Chen LS, Chen K, Yuan FH, Rao J, Tang X, Zhang XY, 2018. The investigation and analysis of the spider and insect diversity in spring island shoal wetland of the Poyang Lake National Natural Reserve.

- Biol. Disaster Sci.*, 41(1): 38–43. [陈连水, 陈琨, 袁凤辉, 饶军, 唐兴, 张心怡, 2018. 鄱阳湖保护区春季岛屿滩涂湿地蜘蛛和昆虫多样性的调查分析. 生物灾害科学, 41(1): 38–43]
- Chen YQ, Li Q, Chen YL, Lu ZX, Zhou XY, 2011. Ant diversity and bio-indicators in land management of lac insect agroecosystem in Southwestern China. *Biodiv. Conserv.*, 20(13): 3017–3038.
- Chen YY, Lv XG, 2003. The wetland function and research tendency of wetland science. *Wetland Sci.*, 1(1): 7–11. [陈宜瑜, 吕宪国, 2003. 湿地功能与湿地科学的研究方向. 湿地科学, 1(1): 7–11]
- Chen ZY, Liang GQ, Jia FL, Xie WC, Tang CG, Chen JL, Yang QY, Chen ZM, Deng SF, 2001. Species and feeding habits of predatory insects (including spiders) from Dadongshan (MT.) of Guangdong Nanling National Nature Reserve. *Nat. Enemies Ins.*, 23(1): 6–21. [陈振耀, 梁铭球, 贾凤龙, 谢委才, 唐长根, 陈景烈, 杨清云, 陈志明, 邓世福, 2001. 广东南岭国家自然保护区大东山捕食性昆虫及其食性分析. 昆虫天敌, 23(1): 6–21]
- de Vos JM, Joppa LN, Gittleman JL, Stephens PR, Pimm SL, 2015. Estimating the normal background rate of species extinction. *Conserv. Biol.*, 29(2): 452–462.
- Eyre MD, Lott DA, Garside A, 1996. Assessing the potential for environmental monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with riverside and Scottish data. *Ann. Zool. Fenn.*, 33(1): 157–163.
- Gao BJ, Zhang ZZ, Li ZY, 1992. Studies on the influence of the closed forest on the structure, diversity and stability of insect community. *Acta Ecol. Sin.*, 12(1): 1–7. [高宝嘉, 张执中, 李镇宇, 1992. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究. 生态学报, 12(1): 1–7]
- Gu W, Ma L, Ding XH, Zhang J, Han ZW, 2011. Insect diversity of different habitat types in Zhalong wetland, Northeast China. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 22(9): 2405–2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 张静, 韩争伟, 2011. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性. 应用生态学报, 22(9): 2405–2412]
- Han ZW, Ma L, Zhang MY, Shi XL, 2014. Ecological niches of insect community in Taihu wetland. *Sci. Silv. Sin.*, 50(11): 202–207. [韩争伟, 马玲, 张曼胤, 石小亮, 2014. 太湖湿地昆虫群落的生态位. 林业科学, 50(11): 202–207]
- He DH, Chang YD, Tian Z, Yang YF, Yang ST, Liu YX, Li YP, Ma SY, 2001. Dynamics in composition, trophic structure and diversity of an insect community during the processes of succession and restoration. *Acta Ecol. Sin.*, 21(1): 117–125. [贺达汉, 长有德, 田真, 杨云飞, 杨顺堂, 柳永玺, 李玉平, 马世瑜, 2001. 草原沙化与恢复中昆虫群落组成、营养结构及多样性变化研究. 生态学报, 21(1): 117–125]
- Hu ZJ, Liu QG, Chen LJ, Peng ZR, 2009. Structural characteristics of chironomid community and their indicative significance in bioassessment of water quality in Mingzhu Lake of Chongming Island, Shanghai. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 20(4): 929–936. [胡忠军, 刘其根, 陈立婧, 彭自然, 2009. 上海崇明明珠湖摇蚊幼虫群落结构特征及其对水质的指示作用. 应用生态学报, 20(4): 929–936]
- Jiang SL, 2007. Diversity in functional group and nutritional class of arthropod community on cultivated lucerne grassland. *Chin. J. Ecol.*, 26(4): 519–522. [姜双林, 2007. 紫花苜蓿草地节肢动物群落功能团和营养层的多样性. 生态学杂志, 26(4): 519–522]
- Jiang WX, He FZ, Cai QH, 2017. Spatial distribution patterns of trait composition and functional diversity of aquatic insects in the Xiangxi River system. *Acta Ecol. Sin.*, 37(6): 1861–1870. [蒋万祥, 何逢志, 蔡庆华, 2017. 香溪河水生昆虫功能性状及功能多样性空间格局. 生态学报, 37(6): 1861–1870]
- Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Luo LZ, 2016. Research advances and perspectives on migration-induced mechanisms promoting outbreaks of major lepidopteran insect pests in China. *Sci. Sin. Vit.*, 46(5): 565–572. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 罗礼智, 2016. 中国主要鳞翅目农业害虫迁飞致灾机制研究与展望. 中国科学: 生命科学, 46(5): 565–572]
- Li BC, 2006. Holocene paleo-climatic environment in ruins of the Shuidonggou, Ningxia. *J. Jilin Univ. (Earth Sci. Ed.)*, 36(1): 49–53. [李秉成, 2006. 宁夏灵武水洞沟遗址全新世的古气候环境. 吉林大学学报(地球科学版), 36(1): 49–53]
- Li Q, Chen YQ, Xu ZH, 2009. Research methods on ant community. *Chin. J. Ecol.*, 28(9): 1862–1870. [李巧, 陈又清, 徐正会, 2009. 蚂蚁群落研究方法. 生态学杂志, 28(9): 1862–1870]
- Li YY, Zhang DZ, 2015. The species diversity and fauna of Odonata in Ningxia Lingwu Baijitan National Nature Reserve. *Environ. Entomol.*, 37(3): 492–497. [李迎运, 张大治, 2015. 宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区蜻蜓目昆虫多样性及区系. 环境昆虫学报, 37(3): 492–497]
- Li ZP, Zhou YM, 2001. Important indicator species (Trichoptera grubs) in water quality monitoring on biological method. *Heilongjiang Environ. J.*, 25(1): 77–78. [李再培, 周晏敏, 2001. 水质监测的重要指示生物——毛翅目幼虫. 黑龙江环境通报, 25(1): 77–78]
- Lin L, Wu TY, Li JK, Zhang XP, 2013. Studies on functional groups of macro-soil animals in Daqing meadow steppe based on the new classification. *Geogr. Res.*, 32(1): 41–54. [林琳, 邹天媛, 李景科, 张雪萍, 2013. 大庆草甸草原区大型土壤动物功能类群. 地理研究, 32(1): 41–54]
- Liu C, Chen GH, Tang JY, Zhang YP, Zhu KX, 2010. Analysis of structure and stability of insect community in different tea gardens. *J. Yunnan Agric. Univ. (Nat. Sci.)*, 25(6): 786–790. [刘晨, 陈国华, 唐嘉义, 张亚萍, 朱克西, 2010. 不同茶园昆虫群落结构及稳定性分析. 云南农业大学学报(自然科学版), 25(6): 786–790]
- Liu XH, 2009. Present situation of wetland resources and their protection in Ningxia. *J. Agric. Sci.*, 30(2): 44–47. [刘晓红, 2009. 宁夏湿地资源及保护现状初探. 农业科学研究, 30(2): 44–47]
- Ma Y, Lv GH, He XM, Zhang XN, 2015. Responses of plant diversity and soil factors driving to soil salinity in wetland of Ebinur Lake. *Guangdong Agric. Sci.*, 42(11): 141–147. [马玉, 吕光辉, 何学敏, 张雪妮, 2015. 盐梯度下艾比湖湿地植物多样性响应及土壤因子驱动研究. 广东农业科学, 42(11): 141–147]
- Pan H, Chen XZ, Wu J, Zhang J, 2017. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on the structural characteristics and seasonal dynamics of insect functional groups in Jiuduansha wetland of the Yangtze River Estuary, East China. *Acta Entomol. Sin.*, 60(1): 67–83. [潘

- 卉, 陈秀芝, 吴捷, 张晶, 2017. 互花米草入侵对长江口九段沙湿地昆虫功能群组特征及季节动态的影响. *昆虫学报*, 60(1): 67–83]
- Plaza Esteban C, Visseren-Hamakers IJ, Jong W, 2014. The legitimacy of certification standards in climate change governance. *Sustain. Dev.*, 22(6): 420–432.
- Su L, Huang JH, Wu M, Wu H, 2012. Insect diversity in wetland vegetation succession: a review. *Chin. J. Ecol.*, 31(6): 1577–1584. [苏兰, 黄俊浩, 吴明, 吴鸿, 2012. 湿地植被演替中昆虫多样性变化研究进展. *生态学杂志*, 31(6): 1577–1584]
- Sun RY, 2001. Principles of Animal Ecology. 3rd ed. Beijing Normal University Press, Beijing. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理(第3版). 北京: 北京师范大学出版社]
- Tang XP, Huang GL, 2003. Study on classification system for wetland types in China. *For. Res.*, 16(5): 531–539. [唐小平, 黄桂林, 2003. 中国湿地分类系统的研究. *林业科学研究*, 16(5): 531–539]
- Tchakonté S, Ajeagah GA, Camara AI, Diomandé D, Tchatcho NLN, Ngassam P, 2015. Impact of urbanization on aquatic insect assemblages in the coastal zone of Cameroon: the use of biotraits and indicator taxa to assess environmental pollution. *Hydrobiologia*, 755(1): 123–144.
- Tong CF, 2012. Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh. *Acta Ecol. Sin.*, 32(3): 786–795. [童春富, 2012. 植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响. *生态学报*, 32(3): 786–795]
- Wang JF, Wang XP, 2010. Analysis and evaluation of insect community diversity in Shuidonggou wetland of Ningxia. *Chin. Bull. Entomol.*, 47(5): 962–967. [王建芳, 王新谱, 2010. 宁夏水洞沟湿地昆虫群落多样性分析与评价. *昆虫知识*, 47(5): 962–967]
- Wang JH, Shao JL, Che SC, Ren GF, 2008. Study on insect community functional groups in Beijing garden greenland. *Beijing Gard.*, 24(1): 18–25. [王建红, 邵金丽, 车少臣, 任桂芳, 2008. 北京园林绿地昆虫群落功能团的研究. *北京园林*, 24(1): 18–25]
- Wang SS, Ou KF, Xia WS, Zhang HY, 2012. Study on the insect community diversity and seasonal dynamics of garden wetlands in Wuhan city. *J. Environ. Entomol.*, 34(3): 265–276. [王珊珊, 欧克芳, 夏文胜, 张宏宇, 2012. 武汉市湿地公园昆虫群落多样性及季节动态研究. *环境昆虫学报*, 34(3): 265–276]
- Wang XP, Yang F, Yang GJ, 2008. Composition and diversity of insect community in Yellow River Wetland of Yinchuan. *Sichuan J. Zool.*, 27(5): 110–111, 114. [王新谱, 杨锋, 杨贵军, 2008. 黄河湿地银川段昆虫群落组成及其多样性研究. *四川动物*, 27(5): 110–111, 114]
- Wang Y, Zhang DZ, 2015. Study on the insect diversity and fauna of Hemiptera in Ningxia Lingwu Baijitan National Nature Reserve. *Sichuan J. Zool.*, 34(4): 534–540. [王燕, 张大治, 2015. 宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区半翅目昆虫多样性及区系研究. *四川动物*, 34(4): 534–540]
- Wang Z, Meng QQ, Zhong GH, 2014. Study on the feeding behavior process and mechanism of phytophagous insect. *J. Environ. Entomol.*, 36(4): 612–619. [王政, 孟倩倩, 钟国华, 2014. 植食性昆虫取食行为过程及机制研究. *环境昆虫学报*, 36(4): 612–619]
- Wu LF, Jiang WH, Yuan SL, Guo MM, Liu JX, 2017. Effects of different forest stand types of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on insect community diversity in Saihanba Nature Reserve, North China. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 28(1): 308–314. [吴龙飞, 姜文虎, 袁胜亮, 郭萌萌, 刘军侠, 2017. 塞罕坝自然保护区樟子松不同林分类型对昆虫群落多样性的影响. *应用生态学报*, 28(1): 308–314]
- Xiong LH, Wu X, Lu JJ, 2010. Bird predation on concealed insects in a reed-dominated estuarine tidal marsh. *Wetlands*, 30(6): 1203–1211.
- Xu Y, Yang F, Gao HJ, 2008. Preliminary analysis on insect community composition and diversity in Yinchuan wetland of Ningxia. *J. Anhui Agric. Sci.*, 36(22): 9563–9564. [许扬, 杨锋, 高红军, 2008. 宁夏银川市湿地昆虫群落组成及多样性初步研究. *安徽农业科学*, 36(22): 9563–9564]
- Yang GJ, Wang XP, 2013. Nutritional structure and stability of insect community in Luhutai wetland of Yinchuan, Ningxia of Northwest China. *Chin. J. Ecol.*, 32(12): 3268–3275. [杨贵军, 王新谱, 2013. 银川芦花台湿地昆虫群落营养结构及稳定性. *生态学杂志*, 32(12): 3268–3275]
- Yang YC, Yang GJ, Wang J, 2017. Effects of topographic factors on the distribution pattern of carabid species diversity in the Helan Mountains, northwestern China. *Acta Entomol. Sin.*, 60(9): 1060–1073. [杨益春, 杨贵军, 王杰, 2017. 地形对贺兰山步甲群落物种多样性分布格局的影响. *昆虫学报*, 60(9): 1060–1073]
- You LS, Qiu DS, Xiao TG, Wang J, Chen ZM, 1997. Studies on earwig, *Proreus simulans* (Stål) (Dermaptera: Chalcididae) in reed field in Dongting lake region. *Acta Entomol. Sin.*, 40(4): 379–387. [游兰韶, 邱道寿, 肖铁光, 王进, 陈志明, 1997. 洞庭湖区苇田拟垫跗蜉蝣研究. *昆虫学报*, 40(4): 379–387]
- You P, Li HH, Wang SX, 2006. The diversity of the moth community in the North Dagang Wetland Nature Reserve, Tianjin. *Acta Ecol. Sin.*, 26(4): 999–1004. [尤平, 李后魂, 王淑霞, 2006. 天津北大港湿地自然保护区蛾类的多样性. *生态学报*, 26(4): 999–1004]
- Zhang DZ, An YY, Zhang ZG, Yang GJ, Ning CX, 2007. Analysis of the fauna composition of grasshoppers in Yellow River wetland of Ningxia. *Chin. Bull. Entomol.*, 44(6): 890–895. [张大治, 安玉英, 张志高, 杨贵军, 宁春晓, 2007. 宁夏黄河湿地蝗虫区系组成分析. *昆虫知识*, 44(6): 890–895]
- Zhang JT, 2011. Quantitative Ecology. 2nd ed. Science Press, Beijing. [张金屯, 2011. 数量生态学(第2版). 北京: 科学出版社]
- Zheng LY, Gui H, 1999. Insect Classification (Vol. 1 and 2). Nanjing Normal University Press, Nanjing. [郑乐怡, 归鸿, 1999. 昆虫分类(上下册). 南京: 南京师范大学出版社]
- Zhong YX, Fu BQ, 2013. Diversity and spatial pattern of insect community in Baihe river wetland, Beijing in summer. *J. Cap. Norm. Univ. (Nat. Sci. Ed.)*, 34(5): 18–26. [仲雨霞, 付必谦, 2013. 北京白河湿地夏季昆虫群落的多样性及空间分布格局. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 34(5): 18–26]